

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛЕДЯЩЕГО ГИДРОПРИВОДА

Волик А. О., студ.; Жукова Н. В., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Постановка задачи.

Спектр применения следящего гидропривода достаточно широкий: гидроусилитель руля в автомобилях, кроме автомобилей, следящие гидроприводы устанавливаются на тракторах, на судах, используются в авиации, робототехнике и других сферах. Следящие гидроприводы (СГ) используются для преобразования (отслеживания) движения управляющего элемента в движение управляемого элемента большей мощности, согласованное с движением управляющего элемента по скорости, направлению и перемещению. Следящий гидропривод состоит из задающего устройства, электрогидравлического усилителя (ЭГУ), исполнительного механизма, вычислительного устройства, сравнивающего устройства и датчиком положения в обратной связи. Задающее устройство формирует сигнал управления, пропорциональный требуемому перемещению исполнительного механизма. Электрогидравлический усилитель состоит из электромеханического преобразователя, золотника и поршня. Исполнительным механизмом выступает гидроцилиндр, на который передаётся воздействие с ЭГУ. Вычислительное устройство рассчитывает необходимые параметры воздействия на ЭГУ исходя из задающего воздействия и данных полученных с сравнивающего устройства. Сравнивающее устройство используется для сравнения входного значения и выходного.

Целью управления следящим гидроприводом является отработка задающего перемещения с минимальной ошибкой. Основным возмущением процесса является вес нагрузки объекта. В связи с тем, что при движении вниз сила веса перемещаемого объекта складывается с формируемой гидроприводом силой, а при движении вверх противодействует ей, то создается асимметрия механической характеристики привода, приводящая, в конечном счете, к искажению процесса отслеживания входных сигналов. Таким образом, задача обеспечения высокой точности управления следящим гидроприводом является актуальной.

Анализ ряда существующих решений [1, 2] показал, что проблему компенсации нагрузки можно решить за счет введения гидродинамического компенсатора статической нагрузки в условиях динамических стендов авиационных тренажеров [1], так и за счет синтеза классических ПИД-регуляторов или регуляторов состояния с наблюдателями Люенбергера [2]. Поэтому имеет смысл проанализировать динамику следящего гидропривода на базе типовых линейных звеньев автоматического регулирования.

Методика решения задачи. В качестве примера рассмотрена гидросистема, функциональная схема системы автоматизации которой приведена на рис. 1.

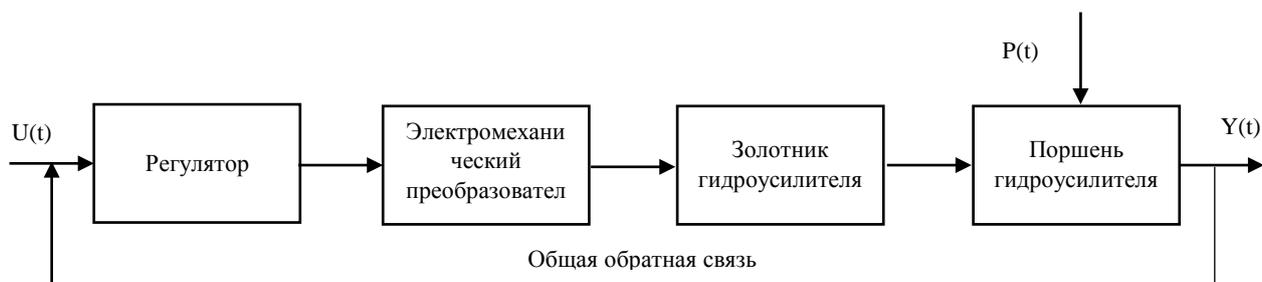


Рисунок 1 – Функциональная схема системы автоматического управления следящим гидроприводом (ЭГУ)

Параметры гидросистемы следующие:

- гидроцилиндр: диаметр поршня 100 мм, диаметр штока 45 мм, ход поршня 550 мм;
- трубопроводы и рукава высокого давления: диаметр 22 мм;
- золотниковый распределитель: диаметр условного прохода 20 мм, ход золотника 1.8 мм, - коэффициент расхода каналов распределителя 0.62;
- рабочая жидкость: плотность 850 кг/м^3 , кинематическая вязкость $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, объемный модуль упругости 1765 МПа;
- механизм: масса $m = 19600 \text{ кг}$, жесткость $c = 6.86 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$, коэффициент вязкого трения $h = 0$.

Входное воздействие на схеме обозначено $U(t)$, выходное – $Y(t)$, а возмущение - $P(t)$.

Математическое моделирование выше приведенной схемы проведено с двумя типами регуляторов. Пропорционально-дифференциальный (ПД) регулятор использовался при отработке САУ ступенчатого воздействия по перемещению. В качестве электромеханического преобразователя выступает консервативное звено, золотник – аperiodическое звено 2-го порядка, а поршень гидроусилителя описывается инерциальным интегрирующим звеном. Схема моделирования данной системы приведена на рис. 2.

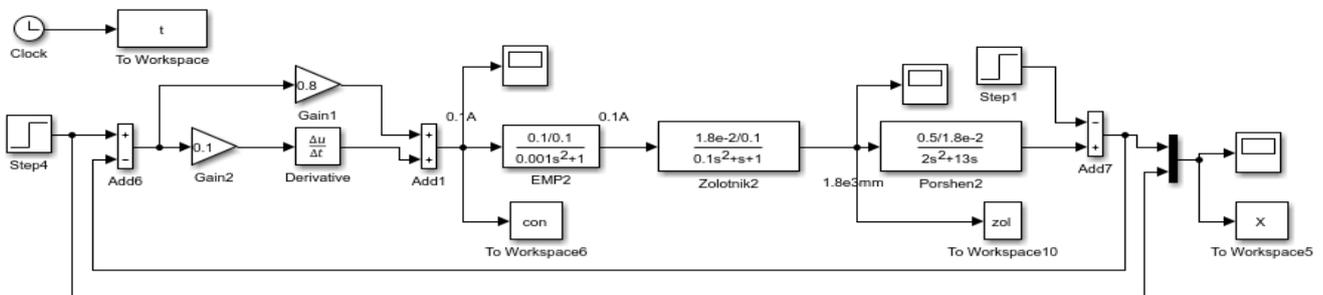


Рисунок 2 – Схема моделирования системы автоматического управления следящим гидроприводом с ПД – регулятором

Реакция системы на ступенчатое воздействие показана на рис. 3.

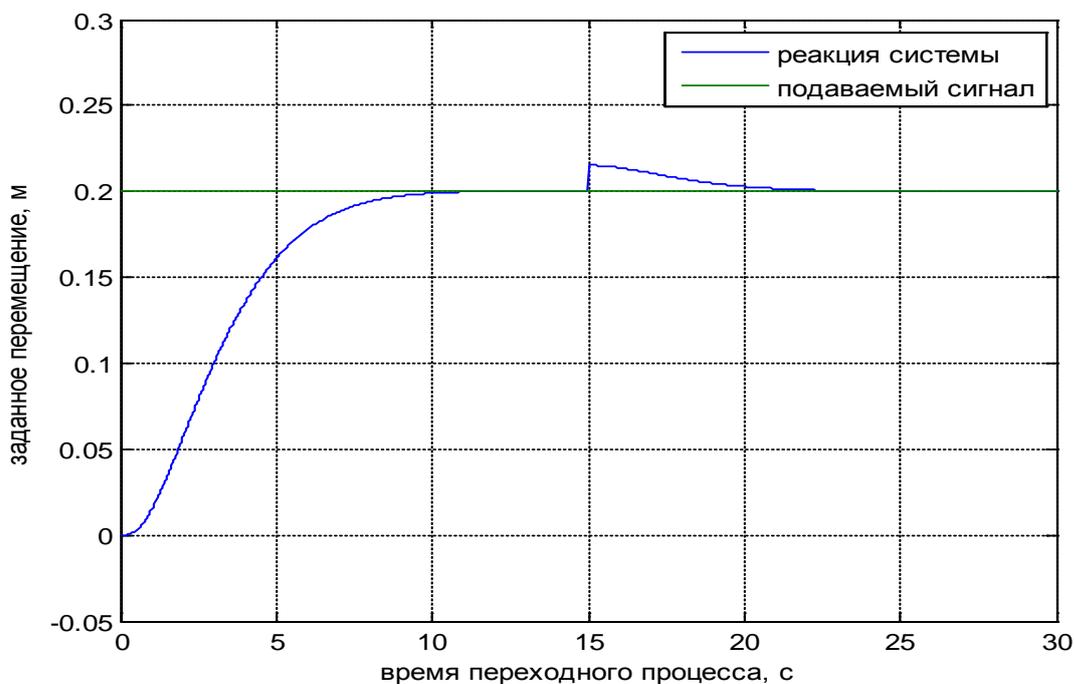


Рисунок 3 – Отработка следящим гидроприводом ступенчатого задания по перемещению с компенсацией нагрузки в момент времени 15 с

Из графика видно, что система полностью выходит на заданное положение. Для проверки было подан еще один сигнал на выход системы как незначительное изменение положения под действием внешнего возмущения на систему. Система с нулевой ошибкой обрабатывает ступенчатое возмущение за 7с.

При анализе следящей системы актуальными являются исследования динамики статической ошибки при обработке следящим гидроприводом равноускоренного движения с различными ускорениями, т.е. $\frac{at^2}{2}$. На рис. 4 изображен график реакции системы с ПД регулятором при обработке равноускоренного перемещения.

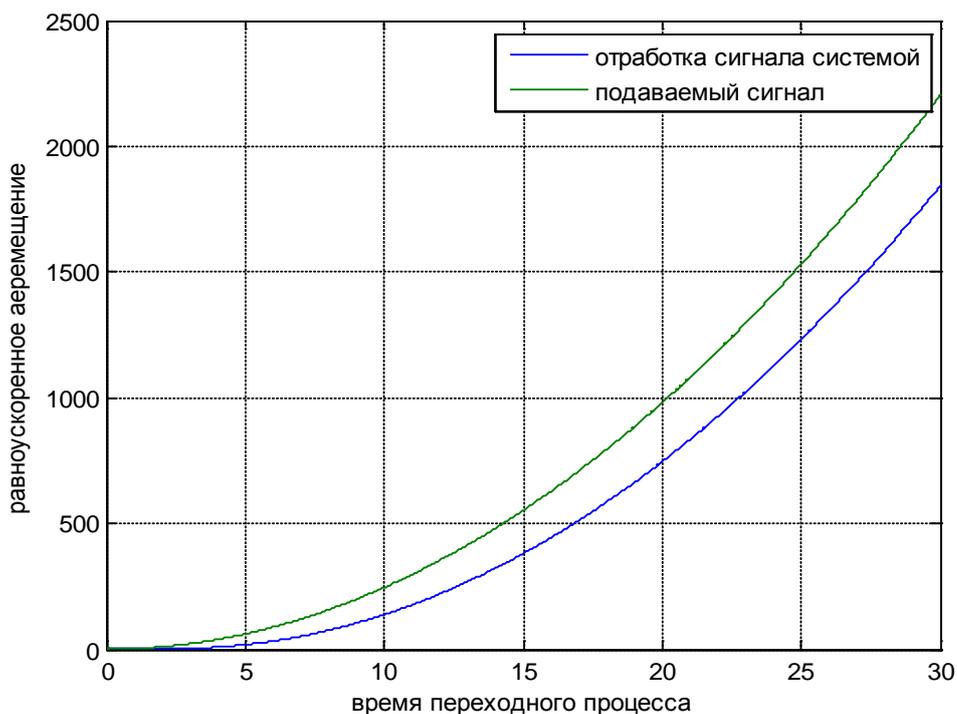


Рисунок 4 – Реакция системы с ПД регулятором при обработке равноускоренного перемещения $\frac{0.5at^2}{2}$

Из графика следует, что САУ обрабатывает входной сигнал с равноускоренным перемещением, поэтому система с ПД-регулятором не соответствует высокой точности.

Для обеспечения высокой точности процесса слежения необходимо ввести в контур регулятора интегрирующую составляющую с соответствующим коэффициентом усиления. На рис. 5 изображена схема моделирования с ПИД-регулятором в цепи рассогласования.

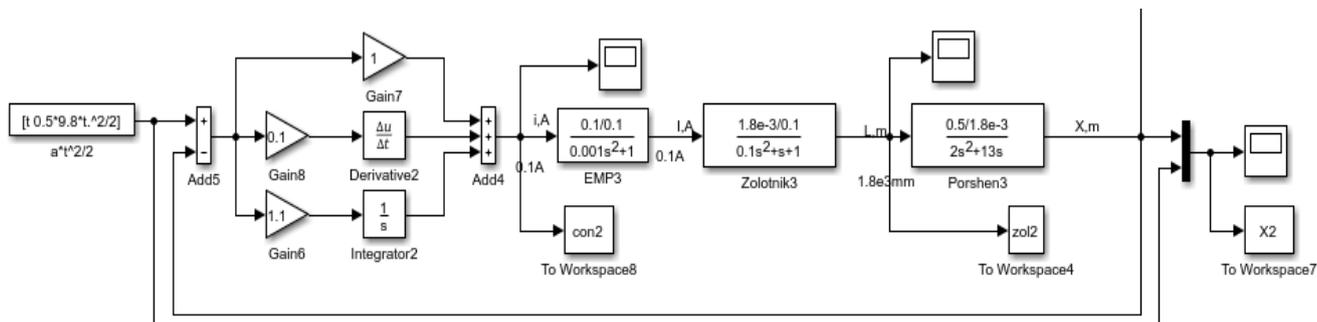


Рисунок 5 – Схема моделирования системы автоматического управления следящим гидроприводом с ПИД - регулятором

Из переходных характеристик (рис. 6) видно, что ПИД регулятор обрабатывает входное равноускоренное перемещение с минимальной ошибкой, равной 1,35% и не выходящей за пределы допустимых значений. При дальнейшем анализе эту ошибку можно свести к еще большему минимуму.

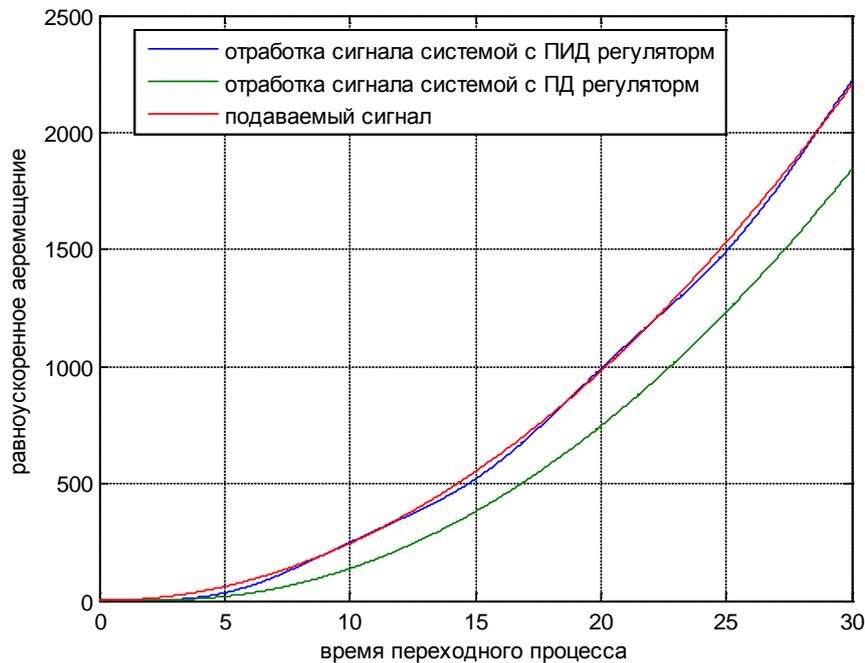


Рисунок 6 – Реакция системы с ПД и ПИД регуляторами при обработке равноускоренного перемещения $\frac{0.5at^2}{2}$

Следящая САУ очень чувствительна к вариации коэффициента усиления интегрирующей части [3, 4]. Изменение коэффициента интегральной составляющей на одну десятую приводит к расходящемуся процессу (рис. 7).

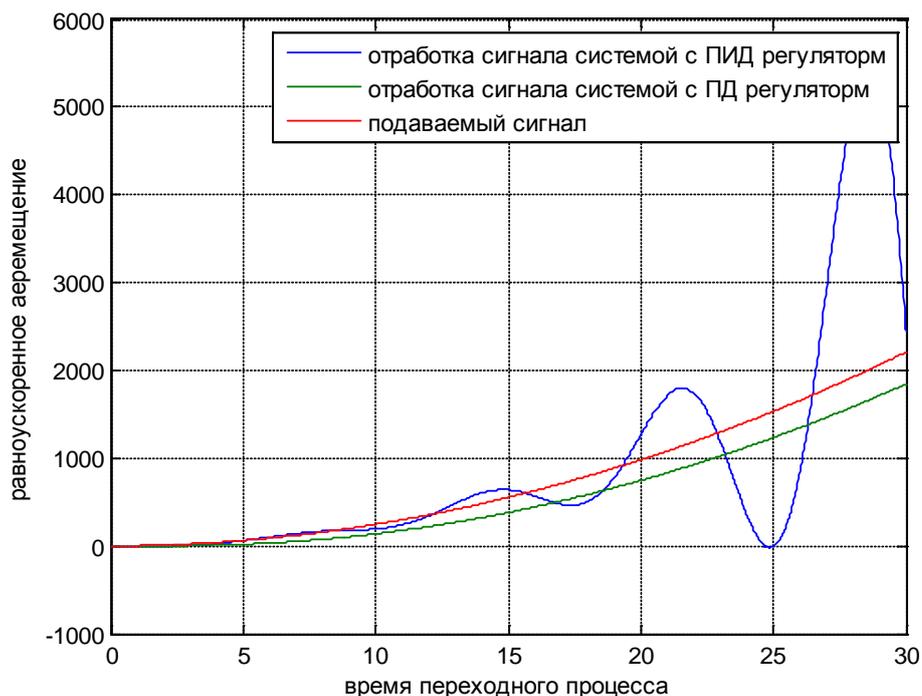


Рисунок 7 – Реакция системы с ПИД регулятором при увеличении K_I

Для сравнения на том же графике показан и ПД регулятор. Это обуславливается тем, что интегрирующая часть вносит автоколебания в систему.

Так же, следует учитывать, что при большой длительности переходного процесса, система так же становится неустойчивой. Так как значение времени в входном сигнале берется в квадрате. Уменьшение коэффициента сводит систему к устойчивости, но статическая ошибка увеличивается.

Для рассмотренного примера, как и, в принципе, для всех следящих гидроприводов, время моделирования берется не слишком большое, так как система должна быть быстродействующей, поэтому подбор коэффициента интегрирующей части ПИД регулятора упрощается.

Так мы можем наблюдать незначительные изменения поведения системы при применении разных значений коэффициентов.

Выводы.

1. Проведено математическое моделирование системы автоматического управления следящим гидроприводом гидросистемы с заданными параметрами. Моделирование проведено с двумя типами регуляторов. ПД - регулятор отрабатывает заданное перемещение в виде детерминированного ступенчатого воздействия с нулевой статической ошибкой за время регулирования 10 с без перерегулирования. Компенсация статической нагрузки происходит в течение пяти секунд.

2. Для следящих систем гидропривода актуальна проблема отработки равноускоренных перемещений с различными ускорениями. Для минимизации статической ошибки в контур регулирования введена интегральная составляющая и методом подбора получен коэффициент интегратора. Это обеспечило отработку равноускоренного перемещения с минимальной ошибкой, равной 1,35% и не выходящей за пределы допустимых значений.

3. Подбор коэффициентов интегрирующей части может вызвать некоторые затруднения. Возможно так же, что система с подобными коэффициентами станет экономически затратной, сложной в реализации или вовсе нереализуемой. Рассмотренный пример подходит только для следящих систем, где необходимо знать, какое усилие было приложено на выходе и скорректировать его, если это необходимо. Подобные расчеты и исследования, проведенные на стадии проектирования, позволяют проанализировать общую схему управления следящим гидроприводом и найти оптимальный вариант системы управления для конкретного объекта управления.

Перечень ссылок

1. Прошин, И. А. Математическое моделирование гидроприводов авиационных тренажеров. Надежность и качество / И. А. Прошин, В. Н. Прошкин, В. М. Тимаков // Труды международного симпозиума. – 2008. – т. 1. – С. 469 – 472.

2. Кулаков, Д. Б. Использование гидравлических стендов «FESTO» при исследовании динамики электрогидравлического следящего привода / Д. Б. Кулаков, Б. Б. Кулаков // Инженерный вестник. – Москва, 2014. – № 12. – С. 1103-1105.

3. Попов, Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Д. Н. Попов. – Москва: Машиностроение, 1987. – 464 с.

4. Попов, Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления / Е. П. Попов. – Москва : Наука, 1978. – 256 с.